



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
IG / IB / IQ / FACE-ECO / CDS
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

HYAN ALVARENGA DE MORAES

**MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL PARTICULADO NA
ATMOSFERA DE BRASÍLIA-DF: Estudo preliminar das emissões
veiculares e efeito do vento e da precipitação**

Brasília – DF
Março de 2017

HYAN ALVARENGA DE MORAES

**MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL PARTICULADO NA
ATMOSFERA DE BRASÍLIA-DF: Estudo preliminar das emissões
veiculares e efeito do vento e da precipitação**

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Ciências Ambientais da
Universidade de Brasília como requisito
parcial para obtenção de grau de bacharel
em Ciências Ambientais, sob orientação do
professor Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília – DF
Março de 2017

MORAES, Hyan A.

Monóxido de Carbono e Material Particulado na Atmosfera de Brasília-DF: Estudo preliminar das emissões veiculares e efeito do vento e da precipitação.

Orientação: Dr. Carlos Henke de Oliveira.

53 páginas.

Projeto final em ciências ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS – Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2017.

1. Material particulado – 2. Monóxido de carbono – 3. Atmosfera – 4. Variações temporais – 5. Cânion urbano

**MONÓXIDO DE CARBONO E MATERIAL PARTICULADO NA
ATMOSFERA DE BRASÍLIA-DF: Estudo preliminar das emissões
veiculares e efeito do vento e da precipitação**

Hyan Alvarenga de Moraes
Prof. Orientador: Dr. Carlos Henke de Oliveira

Brasília – DF, 03 de março de 2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Henke de Oliveira (Orientador)
Instituto de Biologia da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Pedro Henrique Zuchi da Conceição (Avaliador)
Instituto de Economia da Universidade de Brasília

**Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares e amigos,
que estiveram ao nosso lado durante todo o tempo.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, principalmente minha mãe, Keila e meu pai, Rubens, por todo ensinamento e apoio.

Agradeço aos amigos que fizeram parte dessa caminhada.

Agradeço a todos os professores, principalmente os da Universidade de Brasília, que fizeram parte da minha formação acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, professor Carlos Henke de Oliveira, pelas orientações, ensinamentos e pela oportunidade de realizar esse trabalho.

Agradeço a secretária do curso Elaine, por sempre atender os estudantes da melhor forma possível.

Agradeço ao professor Pedro Zuchi, que durante seu período de coordenação do curso, realmente se dedicou em melhorar o curso de ciências ambientais.

Por fim, agradeço a Hanna, Iron, Maya e Miuda.

RESUMO

A poluição do ar tem causado cada vez mais problemas ao redor do mundo, trazendo danos à saúde da população mundial, tanto quanto aos ecossistemas. Uma das principais fontes de poluentes são os veículos, que em sua maioria usam combustíveis fósseis, emitindo diversos poluentes, seja por sua combustão incompleta ou por evaporação. Entre esses poluentes estão o monóxido de carbono (CO) e o material particulado (MP). Mesmo causando sérios problemas a saúde, esses poluentes não são devidamente monitorados em muitos lugares, Brasília sendo um desses. Devido à falta de monitoramento, esse trabalho tem como objetivo mapear a variação temporal de CO e MP, frente aos mecanismos geradores, tais como; intensidade do tráfego de veículos automotores, junto à modulação pelos semáforos; em caráter adicional, avaliando o regime dos ventos na determinação da concentração destes poluentes. Para alcançar o objetivo, foi utilizada uma sonda SAPHIRA, um equipamento composto por diversos sensores eletrônicos. O estudo foi feito em uma área comercial de Brasília, com características de cânion urbano e onde há um considerável fluxo de pessoas diariamente. A coleta de dados foi feita em janeiro de 2017, período de chuvas do Distrito Federal. Os resultados mostraram que as concentrações médias de CO e MP estão abaixo dos limites máximos recomendados, o que é um ótimo sinal para a saúde da população e dos ecossistemas. A média máxima encontrada para CO foi de 3,87 ppm e para MP; 7,75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 2,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para fino e grosso respectivamente. Devido à interferência da luz do sol no sensor fotoelétrico, o regime de abertura/fechamento dos semáforos não pode ser devidamente monitorado, impossibilitando a análise do seu papel sobre o aumento ou diminuição da concentração de CO e MP. Contudo, notou-se que o regime de ventos se mostra conectado à variação da concentração de poluentes, mostrando que o vórtice de vento, que normalmente é gerado em cânions, não afetou tanto a dispersão, enquanto o fluxo de veículos não mostrou uma grande relação com a concentração. Isso evidencia que os aspectos qualitativos da frota veicular estão associados às emissões.

Palavras-chave: material particulado, monóxido de carbono, atmosfera, variação temporal, cânion urbano.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comportamento do vento dentro de um cânion urbano e provável local de acumulação de poluentes no lado do leeward, em português; sotavento (lado oposto da entrada do vento).....	24
Figura 2: Sonda SAPHIRA 3 e anemômetro de copo utilizados na coleta de dados.	28
Figura 3: Localização da comercial CLN 207/208 no mapa de Brasília.....	29
Figura 4: Local de coleta, uma via comercial (CLN 207/208) na Asa Norte de Brasília-DF.	29
Figura 5: Detalhes da instalação da Sonda SAPHIRA 3 em campo. A coleta de dados ocorreu 3 metros acima do solo, pelo uso de uma plataforma (a) instalada sobre o teto de um veículo estacionado a 5 metros do semáforo onde foi acoplado o sensor fotoelétrico(b). Com uso de um tripé de 3 eixos foi possível alinhar o anemômetro ao norte geográfico (c). Um anemômetro de mão (d) foi utilizado para coleta de dados em condições adversas.	30
Figura 6: Variáveis dependentes (CO, MP fino e MP grosso) e suas respectivas variações durante coletas entre as 08 e às 23 horas (fuso horário UTC, com duas horas de diferença em relação ao horário de verão local) no dia 03/01/2017, na CLN 207/208 em Brasília-DF.....	33
Figura 7: Variações do fluxo de veículos, velocidade do vento e CO a cada hora, entre as 08 e 23 horas, (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.	35
Figura 8: Variação do fluxo de veículos, velocidade do vento e CO nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208,Brasília-DF.	36
Figura 9: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP fino a cada hora, entre as 08 e 23 horas (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.	38
Figura 10: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP fino nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208, Brasília-DF.....	39
Figura 11: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP grosso a cada hora, entre as 08 e 23 horas, (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.	41
Figura 12: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP grosso nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208, Brasília-DF.....	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Poluentes gerados por fontes de diferentes classificações e tipos.....	18
Tabela 2: Classes de material particulado, sua descrição e seus efeitos no ambiente e na saúde humana.	21
Tabela 3: Estações de monitoramento em Brasília-DF e os poluentes monitorados por cada uma delas. Fumaça (FMC); partículas totais em suspensão (PTS); MP10; dióxido de enxofre (SO ₂) e dióxido de nitrogênio (NO ₂).	23
Tabela 4: Concentrações de CO considerados de baixo risco à saúde pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segunda a proposta do órgão, o padrão de Qualidade do Ar Intermediário 1 (PI-1) entra em vigor a partir da publicação da norma, PI-2 entra em vigor três anos após a PI-1, PI-3 entra em vigor três anos após a PI-2, Padrão Final (PF) três anos após a PI-3.	43
Tabela 5: Síntese dos dados obtidos no presente estudo, mostrando as concentrações médias de MP _{2,5} , MP ₁₀ e CO de hora em hora durante o dia 03/01/2017, na CLN 207/208, entre as 08 e 22 horas(fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local). Os valores em destaque são as médias máximas encontradas.	44
Tabela 6: Concentrações de MP _{2,5} e MP ₁₀ considerados de baixo risco à saúde pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segunda a proposta do órgão, o padrão de Qualidade do Ar Intermediário 1 (PI-1) entra em vigor a partir da publicação da norma, PI-2 entra em vigor três anos após a PI-1, PI-3 entra em vigor três anos após a PI-2, Padrão Final (PF) três anos após a PI-3.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO – Monóxido de Carbono

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DF – Distrito Federal

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBRAM-DF – Instituto Brasília Ambiental

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MP – Material Particulado

MP10 – Partículas inaláveis

MP2.5 – Partículas Inaláveis Finas

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PRONAR – Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar

SAPHIRA – Sistema de Aquisição, Processamento, Hospedagem e Integração de Informações sobre Recursos Ambientais

WHO (OMS) – Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral.....	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	CONTEXTUALIZAÇÃO	16
3.1	Veículos Automotores e a Poluição.....	16
3.2	Monóxido de Carbono.....	19
3.3	Material Particulado	19
3.4	Legislação e Monitoramento	22
3.5	Cânions Urbanos	24
3.6	Semáforos.....	25
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1	Coleta de dados	27
4.2	Organização dos Dados	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	Caracterização do Período de Coleta	32
5.2	Monóxido de Carbono.....	34
5.3	Material Particulado Fino	37
5.4	Material Particulado Grosso	39
5.5	Níveis de Concentrações Permitidos e Cânions Urbanos	42
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	48
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui uma frota de aproximadamente 88 milhões de veículos, desses, aproximadamente 1.7 milhão encontra-se em Brasília, segundo dados do Departamento de Trânsito de Brasília (DETRAN/DF). Veículos que usam combustíveis fósseis ainda são a maioria, e a combustão gera uma diversificada emissão de poluentes para a atmosfera. O tamanho da frota de veículos parece ser responsável por uma boa parte das emissões antrópicas geradas, juntamente com as atividades industriais, queimadas e atividades agropecuárias (MMA, 2014; WHO, 2000).

A urbanização e o crescimento de grandes centros urbanos vêm sendo uma tendência nos últimos séculos. Com isso, ocorre uma degradação da qualidade do ar, elevando o número de ocorrências a problemas respiratórios e cardiovasculares ligados ao deterioramento da atmosfera (ALONSO, 2010). A poluição do ar tem sido considerada responsável por um elevado número de mortes todos os anos. Estudos estimam que entre 6.5 milhões e 7 milhões de mortes todos os anos são causadas pela poluição do ar (WHO, 2014).

A poluição não afeta só a saúde humana, mas todo o ecossistema; pode comprometer o desenvolvimento de diversas espécies vegetais e animais, podendo até causar a morte dessas. Águas e solos poluídos também levam à morte de organismos, já que há dependência dos recursos necessários para seu desenvolvimento. Além disso, a poluição esta ligada ao aquecimento global, ocorrendo mudanças no clima, que também gera perda de espécies (DRISCOLL, 2001).

Nas últimas décadas, a poluição vem suscitando diversos debates entre países, conduzindo à adoção de políticas de controle, diminuição da poluição e incentivo ao uso e desenvolvimento de tecnologias limpas. No Brasil, a gestão da qualidade do ar é um tema de interesse para o Ministério do Meio Ambiente (MMA), que visa um desenvolvimento socioeconômico sustentável e ambientalmente seguro. Esse tema é atribuição da Gerência de Qualidade do Ar (GQA), vinculada ao Departamento de Qualidade Ambiental na Indústria,

que foi criada para formular políticas e executar as ações necessárias para a preservação e a melhoria da qualidade do ar, assim como assistir tecnicamente os órgãos de assuntos afeitos a essa temática, sendo: Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

O CONAMA estabelece, para cada um dos poluentes, limites máximos de concentração. O Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) é responsável pelo Programa de Monitoramento da Qualidade do Ar do Distrito Federal, que esta em vigor desde 2005, e é responsável pela quantificação e avaliação da qualidade em relação aos limites estabelecidos. As amostragens são feitas por um período de 24 horas, uma vez por mês. Caso haja algum problema na amostra, ela não é repetida no local no mesmo mês, deixando o mês sem dados. Para fazer esse monitoramento, existem cinco estações que realizam as medições em locais com grande circulação de pessoas, porém, uma dessas estações, Taguatinga Centro, tem enfrentado problemas de funcionamento (IBRAM, 2016).

Com o avanço da tecnologia, fica cada vez mais simples de conseguir monitorar as emissões atmosféricas, pois há cada vez mais disponibilidade de sensores de baixo custo e efetivos para tal tarefa. Porém, a questão do monitoramento atmosférico vai além da viabilidade tecnológica, pois é preciso considerar questões locais e resoluções espaço temporais específicas. Por exemplo, é fundamental monitorar as emissões em lugares com maior número de pessoas, particularmente identificando grupos humanos específicos de tais locais, bem como monitorar ambientes com características diferentes, seja em relação à analisar distintas fontes de poluição, seja com base na existência de grupos humanos com características peculiares, sobretudo em relação à exposição a agentes atmosféricos adversos, incluindo a poluição. De forma análoga, também é fundamental identificar distintos agentes, sobretudo de ordem física, que possam mudar ou modular os fatores de emissão e dispersão dos poluentes. O presente trabalho, foca em uma área com característica de cânion urbano e com semáforos, caracterizando condições locais que representam agentes que podem modificar as condições de emissão e dispersão de poluentes, condições ainda são pouco estudadas no Brasil. Adicionalmente, o presente estudo busca analisar a problemática da poluição de origem automotiva sob uma

abordagem caracterizada por elevada resolução temporal de análise, ou seja, uma frequência de coleta de dados que está além daquele utilizada por estações de monitoramento atmosférico, a exemplo da utilizadas pelo IBRAM no DF.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O Objetivo estabelecido para este estudo foi o de mapear a variação temporal das concentrações de monóxido de carbono e material particulado fino e grosso, frente a mecanismos geradores tais como; intensidade do tráfego de veículos automotores de combustão interna, bem como a sua modulação pelos semáforos. Em caráter adicional, buscamos avaliar o efeito do regime de ventos na determinação de concentrações destes poluentes.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Avaliar a concentração de poluentes durante um dia numa área comercial de Brasília;
- ii. Avaliar o efeito do regime de ventos sobre as variáveis atmosféricas monitoradas;
- iii. Avaliar o efeito do fluxo de veículos sobre a qualidade da atmosfera na via analisada.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO

3.1 VEÍCULOS AUTOMOTORES E A POLUIÇÃO

Segundo o glossário do Departamento de Trânsito do Paraná, veículo automotor significa “todo veículo a motor de propulsão que circule por seus próprios meios, e que serve normalmente para o transporte viário de pessoas e coisas, ou para tração viária de veículos utilizados para o transporte de pessoas e coisas. O termo compreende os veículos conectados a uma linha elétrica e que não circulam sobre trilhos (ônibus elétrico)”.

Veículos automotores podem gerar emissões de forma ativa, sendo essa emissão feita pela queima de combustível e emitida pelo escapamento, ou de forma evaporativa do combustível durante o uso ou repouso do veículo. Existem vários fatores que influenciam essa emissão, como a idade do veículo, ano de produção, tipo e qualidade do combustível utilizado, condições de manutenção do veículo, fatores meteorológicos, entre outros (MMA, 2014; HILDEMANN, 1991).

As principais substâncias produzidas e emitidas devido à queima do combustível são: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), aldeídos (RCHO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado (MP), sendo que o MP pode ser classificado em: Partículas Totais em Suspensão (PTS), aqueles com até 100 µm; Materiais Particulados com até 10 µm (MP10), também conhecidos como inaláveis; e os Materiais Particulados com até 2,5 µm (MP2,5), no qual tem o maior potencial de impacto aos seres humanos por serem partículas inaláveis finas (JÚNIOR, 2015).

Para caracterizar um componente como poluente atmosférico, é necessário analisar sua composição química, concentração e sua localização na atmosfera (JÚNIOR, 2015). Os poluentes no ar podem ser primários ou secundários. Os primários são aqueles que são emitidos diretos na atmosfera, e os secundários são aqueles que são formados na atmosfera a partir de reações químicas. A exposição humana a esses poluentes acontece quando há qualquer contato da pessoa com qualquer concentração e por qualquer período de tempo

com esses poluentes. Quando é feita uma avaliação para indicar se a pessoa sofreu uma baixa ou alta exposição a esses poluentes, são levados em consideração principalmente a concentração e o tempo, não sendo necessariamente uma alta exposição se a concentração for alta, mas o tempo de contato for muito curto. Além disso, é necessário levar em consideração condições físicas, idade, nível de atividade, entre outros fatores, para determinar se foi uma alta exposição (WHO, 2000).

Pode ser feita uma classificação dos ambientes organizada em *indoor* e *outdoor*. *Indoor* seriam os ambientes fechados, tais como casas, salas de trabalho, salas de aula, restaurantes, carros, etc. *Outdoor* seriam os locais abertos, com parques naturais, ruas, praças, etc. A maioria das pessoas passa mais tempo em ambiente *indoor*, sofrendo com a poluição tanto produzida dentro do ambiente em que ela se encontra, quanto à poluição que vem de fora. Também pode ser feita uma classificação quanto à mobilidade das fontes dos poluentes, sendo classificadas em fixa ou móvel. Uma indústria, por exemplo, é uma fonte fixa, pois ela é uma fonte que estará emitindo sempre do mesmo local, enquanto carros são exemplos de fontes móveis, já que estão em circulação por diferentes áreas. Vale destacar que uma rodovia é considerada uma fonte fixa, já que ela é fixa em um local e irá concentrar um alto número de veículos (JÚNIOR, 2015). A Tabela 1 possui exemplos de fontes com classificação quanto à mobilidade das fontes poluentes e os poluentes gerados.

Tabela 1: Poluentes gerados por fontes de diferentes classificações e tipos. Fonte: NASCIMENTO, 2016, pagina 19.

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes Estacionárias	Combustão	Material particulado
		Dióxido de enxofre e trióxido de enxofre
		Monóxido de carbono
		Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo Industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas)
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCL e Hidrocarbonetos
		Mercaptanas, HF, H ₂ S, NO _x
	Queima de Resíduos Sólidos	Material particulado
		Gases: SO ₂ , SO ₃ , HCL, NO _x
Fontes Móveis	Outros	Hidrocarbonetos, material particulado
	Veículos Automotores	Material particulado, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
	Aviões e Barcos	Óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio
	Locomotivas etc.	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
Fontes Naturais		Material particulado – poeiras
		Gases – SO ₂ , SO ₃ , HCL, NO _x , hidrocarbonetos
Reações Químicas		Poluentes secundários - O ₃ , aldeídos
		Ácidos orgânicos, nitratos orgânicos
		Aerossol fotoquímico etc.

Há diferentes meios do ser humano entrar em contato com poluentes atmosféricos. Alguns desses meios são: inalação, ingestão e pela absorção na pele. Muitas vezes, a comida e a água podem estar contaminadas por poluentes, tornando a ingestão o meio de maior contato (KAMPA, 2008). A poluição do ar esta conectada a diferentes problemas de saúde, principalmente problemas respiratórios e cardiovasculares, os quais podem causar câncer e, em casos mais extremos, até morte. Estudos feitos mostraram que cerca de 6.5 milhões de pessoas morrem todos os anos devido à exposição a esses poluentes (BRUNEKREEF, 2002; WHO, 2014).

Além de afetar a saúde humana, a poluição atmosférica também afeta o ecossistema e construções. Isso ocorre principalmente pela deposição ácida, que transfere substâncias ácidas da atmosfera para a superfície terrestre, contribuindo direta ou indiretamente para a degradação dos ecossistemas. Essa deposição pode causar a acidificação de águas e solos, causando redução da biota, pode contaminar água potável e produções de alimentos, causar

corrosão e danos estruturais em construções, levando prejuízos à vida e custos econômicos (NASCIMENTO, 2016; DRISCOLL, 2001).

3.2 MONÓXIDO DE CARBONO

O monóxido de carbono (CO) é um gás sem cheiro, sem cor e sem gosto que pode causar envenenamento tanto em pessoas quanto em animais. É um gás produzido devido queima incompleta de combustíveis que contenham carbono, tais como: gasolina, gás natural, carvão e madeira. Tendo como uma das principais fontes antrópicas os veículos automotores (NAS, 2002).

Quando o CO é inalado, é rapidamente absorvido pela corrente sanguínea, onde se liga a hemoglobina, diminuindo a capacidade de transporte de oxigênio na corrente sanguínea, podendo levar a falta de oxigênio nos tecidos do corpo. Os riscos vão variar de acordo com a concentração a duração da exposição, podendo levar a perda de consciência e a morte em casos mais graves (RAUB, 2000). Os sintomas mais comuns de intoxicação por monóxido de carbono são dores de cabeça, fraqueza, dor no peito e mal-estar.

3.3 MATERIAL PARTICULADO

Material particulado (MP) é formado por partículas muito pequenas, sólidas e líquidas que são suspensas na atmosfera por diferentes meios antrópicos e naturais, podendo ser suspensas por incêndio, tempestades de areia, estradas, locais de construção, automóveis, etc. A formação desse material pode conter diversas partículas que podem ser prejudiciais à saúde, como metais e poeira. A formação do material particulado também pode ser dividido em primário, quando for emitido diretamente de uma fonte, e em secundário, quando é formado por reações na atmosfera (EPA, 2016; ANDERSON, 2012).

O material particulado é normalmente classificado segundo seu tamanho, sendo subdividido em como as partículas são gerados e como se depositam nas vias aéreas humanas, normalmente sendo classificado em MP₁₀, MP_{2.5} e MP_{0.1}. MP₁₀ será quando possuir um tamanho entre 2.5 e 10 micrometros (μm), sendo esse material considerado um material mais grosso, com um tempo de suspensão menor e com menor risco a saúde já que nosso nariz consegue filtrar a maior parte desse material. MP_{2.5} é o material que possui entre 0.1 μm e 2.5 μm , é considerado material fino, com um tempo de suspensão maior e sendo muito mais danoso a saúde, estando conectada a cerca de 800 mil mortes prematuras por ano. MP_{0.1} é o material considerado ultra fino, sendo menor que 0.1 μm , sendo uma classificação mais recente (ANDERSON, 2012).

Diversos estudos ligam material particulado a doenças que afetam principalmente os pulmões e o coração, sendo alguns desses problemas: morte prematura de pessoas com doença de coração ou pulmão, ataques do coração, batimento cardíaco irregular, piora em quadros de asma e diminuição do funcionamento dos pulmões. Quanto menor a partícula, mais grave pode ser o dano causado por ela já que ela poderá ir mais fundo nos pulmões, podendo até mesmo penetrar na corrente sanguínea. Já os danos ao meio ambiente irão depender da composição desse material, podendo causar: acidificação de solo e água, danos à vegetação, alteração da diversidade do ecossistema, entre outros (EPA, 2016). A Tabela 2 mostra alguns dos efeitos do material particulado no ambiente e na saúde humana.

Tabela 2: Classes de material particulado, sua descrição e seus efeitos no ambiente e na saúde humana.
Fonte: NASCIMENTO, 2016, página 24.

Classes de Material Particulado	Descrição	Possíveis efeitos
Fumaça	Termo utilizado para as partículas suspensas na atmosfera proveniente dos processos de combustão.	Pode ocasionar redução da visibilidade nas cidades, causar irritação nos olhos e sintomas agudos quando exposto em alta concentração em curto tempo.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 100µm.	Pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade
Partículas inaláveis (MP10)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 10µm.	Podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares.
Partículas Inaláveis Finas (MP2,5)	Aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor ou igual a 2,5µm.	Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares.
Partículas Ultra Finas	Aquelas menores que 0.1µm.	Tem a capacidade de penetrar o tecido e pulmonar, ou pode ser diretamente absorvida pela corrente sanguínea, ocasionando inflamações

3.4 LEGISLAÇÃO E MONITORAMENTO

Em 1989 foi criado o Programa Nacional de Controle da Qualidade do Ar (PRONAR), que busca limitar os níveis de emissão para uma melhora na qualidade do ar e evitando danos à saúde, fauna e flora. Com o PRONAR, foi implementada a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade do Ar e foi criado o Inventário Nacional de Fontes e Emissões, além do PRONAR ter incorporado outros programas para instrumentalizar suas medidas. Um desses programas foi o Programa de Controle da Poluição por Veículos Automotores (PROCONVE). Ao ser feito o primeiro inventário de emissões, ao comparar a emissão de CO entre 1980 e 2009, por exemplo, notou-se uma drástica queda na emissão, mostrando que os programas incorporados pelo PRONAR já estavam dando algum resultado e que as fábricas de veículos estavam se adaptando as regulações (MMA, 2014).

O MMA tem como competência desenvolver políticas, executar ações nacionais e dar apoio aos demais órgãos responsáveis por ações locais quanto à gestão da qualidade do ar. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) fornece suporte ao licenciamento e a formulação dos programas de controle, ficando responsável pelo PRONAR e PROCONVE. Os Estados são responsáveis por implementar programas de poluição do ar, podendo fixar limites de emissão, caso esses novos limites sejam menores que os padrões nacionais (NASCIMENTO, 2016).

Para saber se os limites de emissões estão sendo de fato respeitados, é necessário que haja um monitoramento. Em um estudo feito pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e divulgado em 2014, foi levantado que dos 26 Estados do Brasil e o Distrito Federal, apenas 12 desses monitoravam e divulgavam dados sobre a qualidade do ar.

No Distrito Federal, o monitoramento ocorre desde 2005 e passou a ser feito pelo IBRAM em parceria com a Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) e com a Diretoria de Vigilância Ambiental (DIVAL) a partir de 2012 (IEMA, 2014). A Tabela 3 mostra os locais em que há estações de monitoramento em Brasília e os poluentes que são

monitorados pelas mesmas, sendo que a estação de Taguatinga Centro não tem coletado dados devido a problemas de funcionamento que o IBRAM ainda está tentando consertar.

Tabela 3: Estações de monitoramento em Brasília-DF e os poluentes monitorados por cada uma delas. Fumaça (FMC); partículas totais em suspensão (PTS); MP10; dióxido de enxofre (SO₂) e dióxido de nitrogênio (NO₂). Fonte: IEMA, 2014, página 12.

NUMER- AÇÃO NO MAPA	IDENTIFICAÇÃO	REDE	COORDENADAS UTM			POLUENTES MONITORADOS				
			ZONA	LONGITUDE	LATITUDE	FMC	PTS	MP ₁₀	SO ₂	NO ₂
1	Fercal I	Manual	23	192074	8273161	X	X		X	
2	CIPLAN (antiga estação Queima Lençol)	Manual	23	194194	8276517	X	X		X	
3	Plano Piloto	Manual	23	191172	8251810					
4	Setor Comercial Sul	Manual	23	186891	8248341	X	X	X		X
5	Taguatinga centro	Manual	22	815158	8247214	X	X		X	
	Fercal II ³	Manual		192643	8274540	X	X		X	
	Hospital Universitário da UnB (ou L2 Norte) ³	Manual		192024	8254161		X			

3.5 CÂNIONS URBANOS

Lugares com características de “cânions urbanos” são lugares onde há fileiras de edifícios em ambos os lados de uma rua. Essa característica faz com que vórtices de ventos sejam criados na rua, pois o vento rebate de uma fileira de edifícios a outra, dificultando assim, a dispersão de poluentes, como demonstrado na Figura 1.

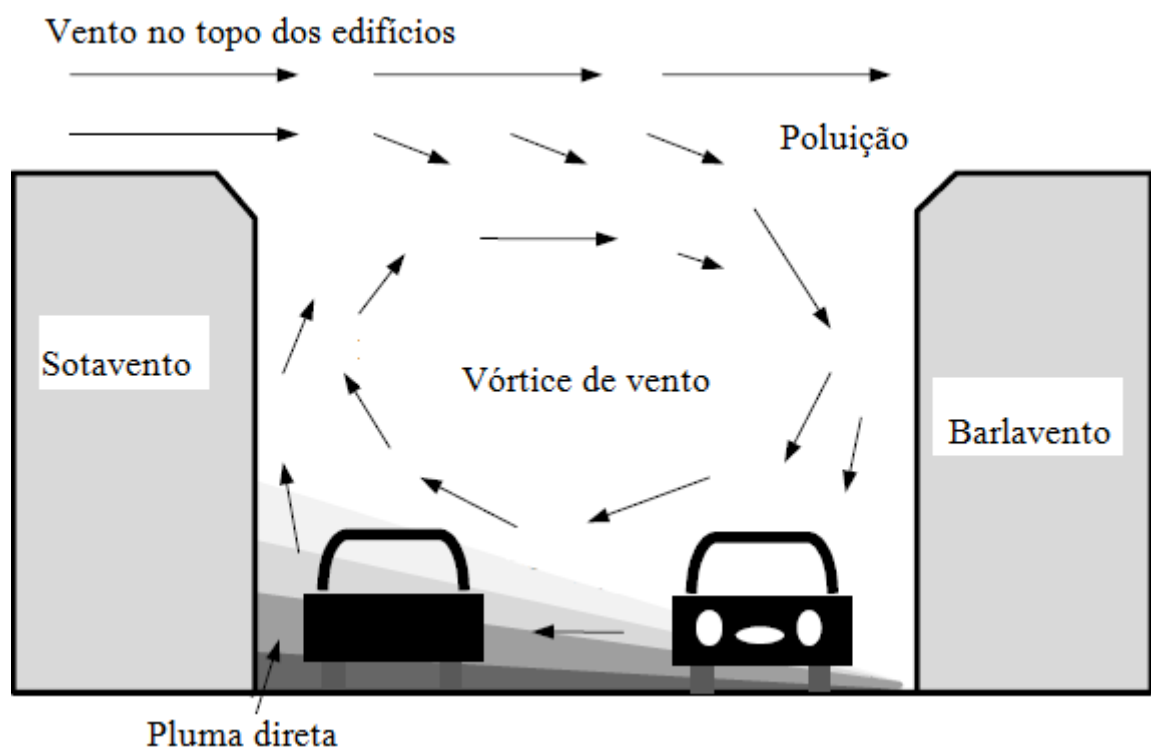


Figura 1: Comportamento do vento dentro de um cânion urbano e provável local de acumulação de poluentes no lado do sotavento. Fonte: Adaptado de Manning, 2000.

A dispersão de poluentes em um cânion depende em muito da sua capacidade de troca vertical de ar, quanto ar está conseguindo entrar e sair do vórtice formado no cânion e voltar para a atmosfera acima do nível dos telhados das construções, sendo a velocidade e a direção do vento os principais fatores para que isso ocorra, mas também sendo importante a largura da rua e altura dos edifícios. Quando a velocidade do vento está muito baixa, o vórtice tende a diminuir a sua força e até desaparecer, com isso, o que vai agir como

dispersos principais de poluentes no cânion são os carros que irão criar uma turbulência mecânica com seus movimentos (VARDOULAKIS, 2003).

No estudo feito por Vardoulakis (2003) as concentrações de poluentes tendem a ser no sotavento (Figura 1) da rua e nesse estudo é citado alguns outros trabalhos com o mesmo resultado, mas também é possível achar estudo em que a concentração é a mesma nos dois lados da rua (PRAJAPATI, 2009). A poluição também tende a diminuir com a altura, quanto mais alto, menor a concentração. Além disso, o tamanho das partículas também irá influenciar na dispersão pelo cânion. Partículas menores e mais finas tendem a ser carregadas mais facilmente pelo vento enquanto partículas maiores e pesadas sofrem uma grande influência da gravidade, se concentrando mais no solo e em menores alturas (VARDOULAKIS, 2003).

3.6 SEMÁFOROS

Nos últimos anos Kumar (2015; 2016) realizou estudos sobre a concentração de partículas e material particulado no trânsito e quanto passageiros dentro de um veículo entram em contato com esse poluente em diferentes situações (com vidro aberto, vidro fechado, diferentes níveis de circulação do ar dentro do carro, etc.). Observou-se que em áreas com sinais de trânsito e interseções, onde há uma interrupção no fluxo de veículos, a dispersão de poluentes diminui quando os carros param e que as construções na área também ajudam a diminuir essa dispersão, caso haja uma interrupção no fluxo de vento devido aos prédios em volta da pista, o que faz com que o contato das pessoas com os poluentes aumente, ao comparar com quando o carro está em movimento livre, sem interrupções (KUMAR, 2015; KUMAR 2016). Kumar (2015) observou que os maiores valores encontrados de poluentes suspensos ocorreram quando o carro estava em aceleração e próximo a outro veículo, isso se deve ao aumento de poluentes emitidos no momento da aceleração. Com os valores encontrados, algumas sugestões foram feitas pelo autor para que o contato com os poluentes sejam diminuídos; ao parar em semáforos é indicado que

feche todos os vidros, se possível desligue o ar do carro, caso não seja possível, que o ar seja ligado de forma a circular só dentro do veículo e que seja deixada uma distância maior quanto ao veículo da frente. Esses estudos apesar de coletarem dados externos ao veículo focaram-se nos efeitos sentidos por quem se encontra dentro do mesmo, não sendo levado em consideração os pedestres e ciclistas que poderiam se encontrar próximos ao veículo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do trabalho iniciou com o levantamento bibliográfico, etapa que foi realizada ao longo de toda a pesquisa, dando o apoio científico necessário para o desenvolvimento dos passos seguidos e para a discussão dos resultados.

4.1 COLETA DE DADOS

Para a coleta de dados foi utilizada a sonda SAPHIRA 3 (Sistema de Aquisição, Processamento, Hospedagem e Integração de Informações sobre Recursos Ambientais, (Figura 2). Trata-se de “um dispositivo eletrônico composto por um microprocessador Raspberry Pi, com registro de dado automatizado a cada 2 segundos, uma câmera fotográfica, cartão mini SD para armazenamento de dados, um receptor de sinal GPS para registro de localização e georreferenciamento, e um conjunto de sensores que medem alguns parâmetros atmosféricos como temperatura, umidade, concentração de monóxido de carbono, material particulado e pressão, além de sensores que medem aceleração e velocidade.” (NASCIMENTO, 2016). O equipamento originalmente utilizado por Nascimento (2016) sofreu algumas modificações, incluindo a incorporação de um anemômetro de copo, visando analisar o regime eólico, e um sensor fotoelétrico (fixado ao semáforo), visando analisar o regime de abertura e fechamento dos semáforos.

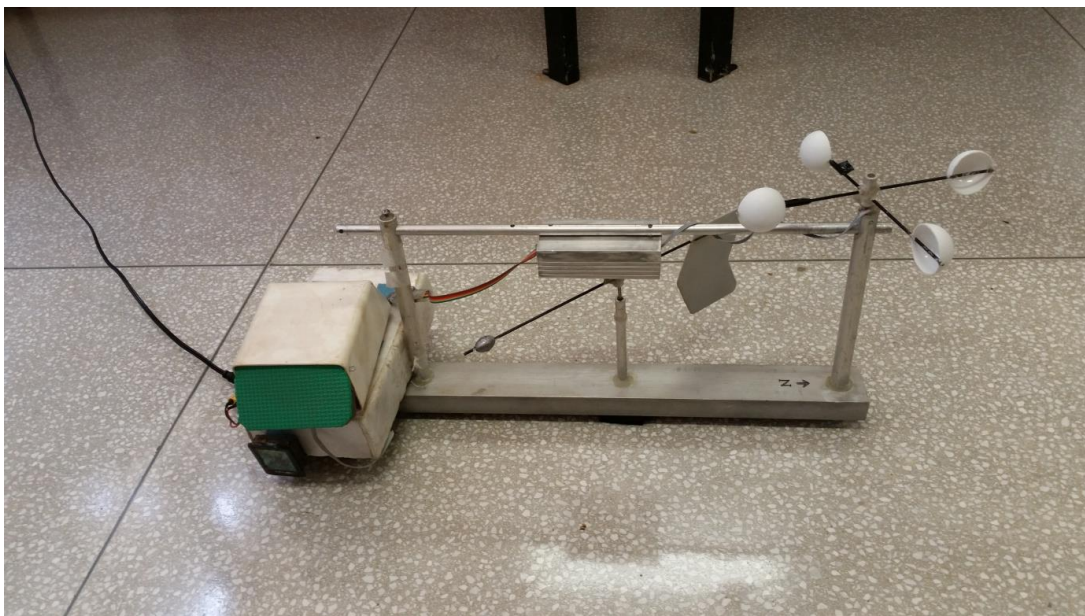


Figura 2: Sonda SAPHIRA 3 e anemômetro de copo utilizados na coleta de dados. Fonte: o autor.

A coleta de dados ocorreu na Asa Norte, Brasília-DF (Figura 3), numa via comercial localizada entre as quadras CLN 207 e 208 (Figura 4). Essa área foi escolhida por ser uma comercial com predomínio de lojas de informática e outros serviços marcadamente não emissores de poluentes de modo a possibilitar, ao máximo, o isolamento e monitoramento das emissões geradas pelos veículos automotores de combustão interna. Além disso, foi escolhido um período mais chuvoso em Brasília para evitar a interferência de poluentes não automotivos, incluindo aqueles oriundos de incêndios em áreas naturais, bem como o material particulado ressuspensionado, típico das épocas de seca.

A coleta ocorreu em uma terça-feira, no dia 03 de janeiro de 2017, entre às 08h e 23h, horário UTC, totalizando 15 horas de estudo e cerca de 24mil registros. A sonda SAPHIRA, foi colocada na parte superior externa de um veículo estacionado próximo ao semáforo (Figura 5). O semáforo está localizado na mediatriz longitudinal da via comercial, onde o sensor fotoelétrico foi colocado na luz verde do semáforo, para haver monitoramento de quando o sinal estava aberto, luz verde, e fechado, luz vermelha. Durante esse período foi feito um registro automático do fotosensor, a cada dois segundos. Para obter a média de fluxo de veículos no local, os veículos foram contados manualmente por períodos de cinco minutos a cada hora. Estes dados foram utilizados para gerar um modelo polinomial que permitisse a

estimação do fluxo veicular a qualquer instante, visando pareamento com os dados da sonda.



Figura 3: Localização da comercial CLN 207/208 no mapa de Brasília. Fonte: GOOGLE MAPS.



Figura 4: Local de coleta, uma via comercial (CLN 207/208) na Asa Norte de Brasília-DF. Fonte: GOOGLE MAPS.

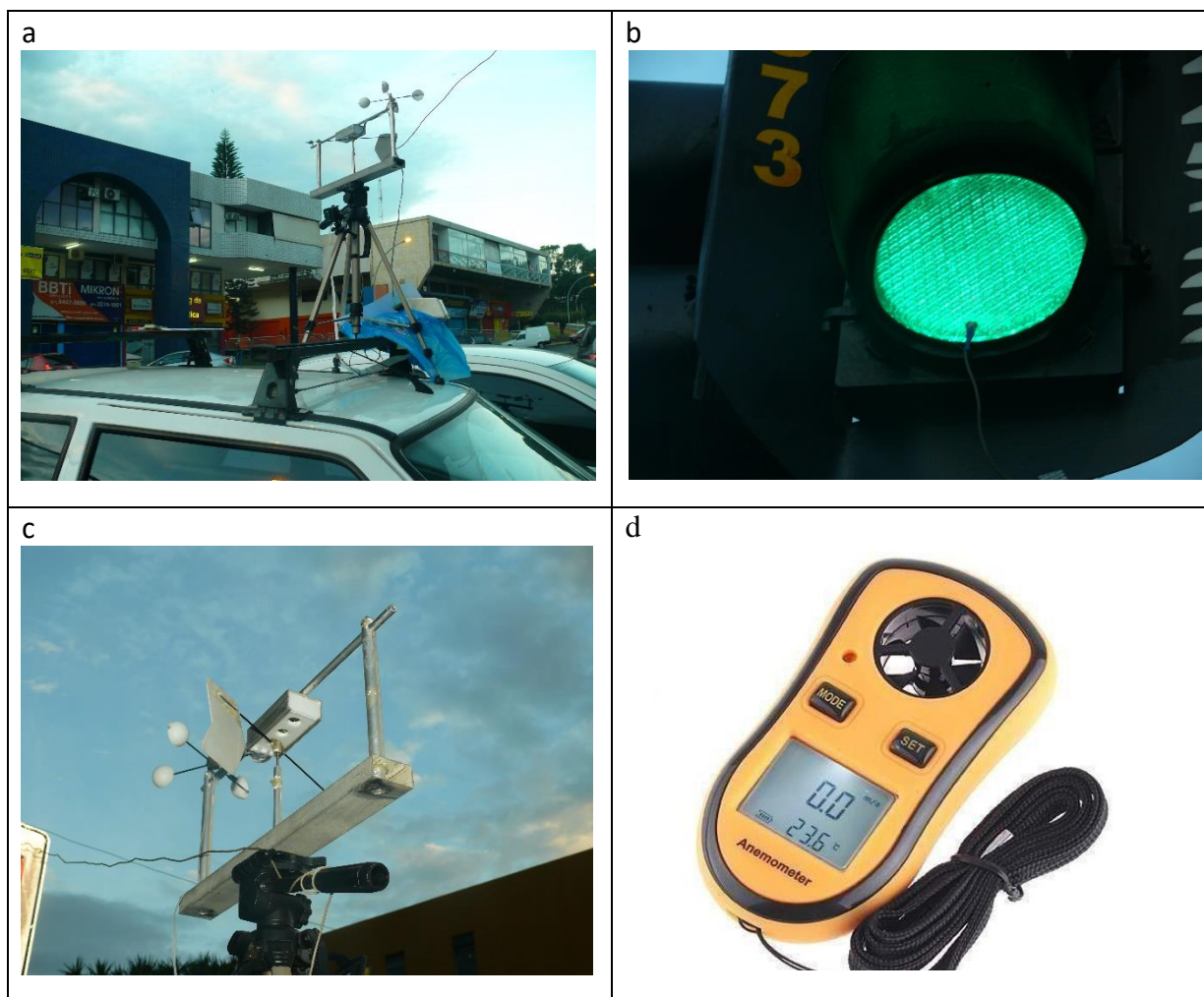


Figura 5: Detalhes da instalação da Sonda SAPHIRA 3 em campo. A coleta de dados ocorreu 3 metros acima do solo, pelo uso de uma plataforma (a) instalada sobre o teto de um veículo estacionado a 5 metros do semáforo onde foi acoplado o sensor fotoelétrico(b). Com uso de um tripé de 3 eixos foi possível alinhar o anemômetro ao norte geográfico (c). Um anemômetro de mão (d) foi utilizado para coleta de dados em condições adversas. Fonte: AUTOR; MERCADO LIVRE.

4.2 ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados foram enviados ao computador, onde organizou-se uma planilha no Microsoft Excel. Posteriormente os dados de fluxo de veículos, anotados manualmente, foram adicionados a essa planilha. Foi feita a organização dos dados, análises estatísticas de caráter descritivo e a criação de tabelas e gráficos.

A organização dos dados foi necessária para que registros com algum erro ou sem dados fossem retirados da planilha. Registros sem dados ou com dados corrompidos ocorreram quando houve algum travamento de algum componente da Sonda, no qual era necessário uma reinicialização.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PERÍODO DE COLETA

O início de Janeiro é um período sem datas civis comemorativas; também é caracterizado por um menor fluxo de veículos nas vias comerciais, em média 540 veículos trafegaram por hora nessa via durante o dia 03/01/2017, o que pode fazer com as concentrações de poluentes diminuam durante esse mês, devido a essa diminuição de veículos trafegando e gerando emissões pela área.

Durante a coleta, houve uma rápida, porém, forte chuva, que será destacada e analisada oportunamente e posteriormente nesse texto. A chuva durou cerca de 13 minutos, no qual precipitou 17,585 mm e foram registrados ventos de 12,7m/s (aproximadamente 45 km/h), que causaram a queda da sonda da parte superior do veículo. Foi uma chuva típica de verão e associada a um forte sistema convectivo *cumuliforme*, que é um sistema muito associada à ocorrência de chuva volumosa. A queda não provocou a interrupção da coleta de dados, exceto dos dados do anemômetro, sendo que as medições da velocidade do vento foram feitas com um anemômetro de mão (Figura 5) durante a fase de restauração da coleta de dados de vento. Para melhor compreender o efeito deste evento severo, foram recortados dados numa janela temporal de 30 minutos que antecederam e sucederam o evento.

A Figura 6 mostra as variáveis dependentes (CO, MP Fino e MP Grosso) em ambiente *outdoor*, provenientes de fontes de emissões difusas, em resolução máxima (2 segundos) para que sejam observadas as oscilações bruscas nos dados, bem como as variações durante as horas. Esta figura não contempla as variáveis independentes, como vento, fluxo veicular e precipitação, visto que a resolução original dos dados não se mostra adequada para analisar as relações de causa-efeito. Para tal propósito, são utilizados dados reamostrados (médias e totais) em resolução de horas.

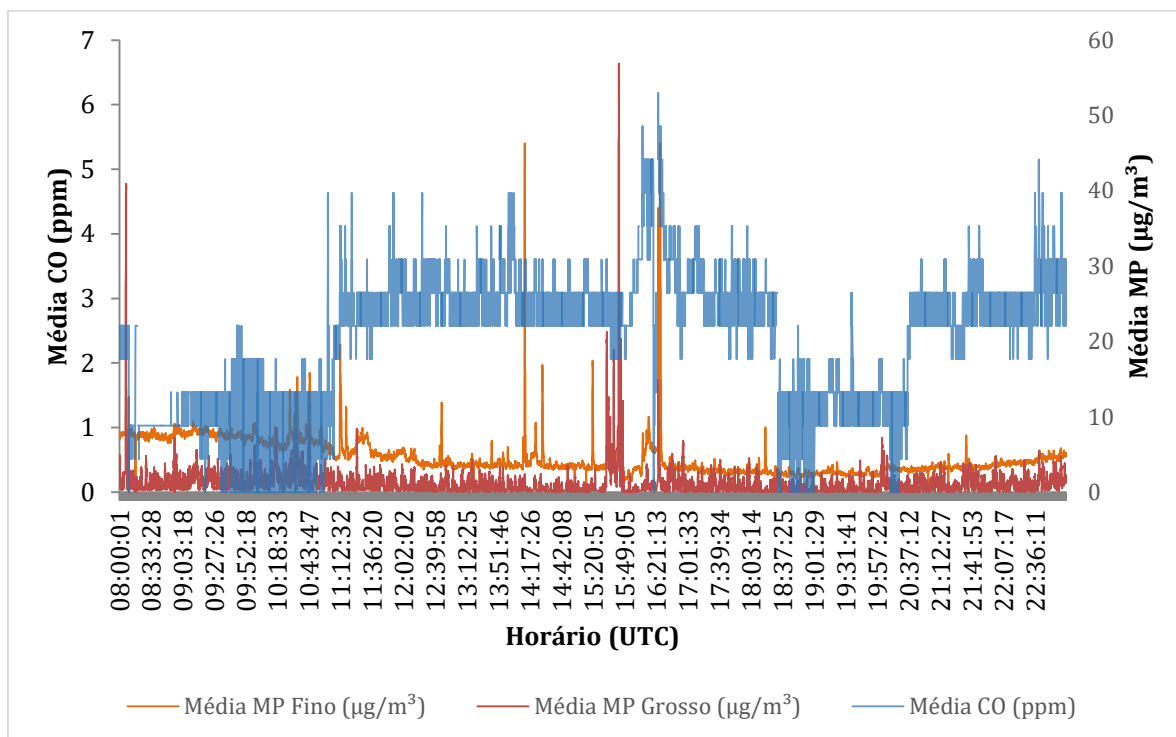


Figura 6: Variáveis dependentes (CO, MP fino e MP grosso) e suas respectivas variações durante coletas entre as 08 e às 23 horas (fuso horário UTC, com duas horas de diferença em relação ao horário de verão local) no dia 03/01/2017, na CLN 207/208 em Brasília-DF.

Observa-se que há um comportamento estocástico dos dados na resolução de 2 segundos (Figura 6), ou seja, ocorrem picos ocasionais e imprevisíveis de material particulado fino e grosso. Esses picos ocorreram em diversos horários diferentes durante o dia, havendo pequenos picos e picos maiores que se destacam por valores muito acima da média. Já o monóxido de carbono possui intervalos bem definidos de concentrações mais baixas e mais altas, mostrando valores mais constantes durante o dia.

Foi encontrado um coeficiente de correlação linear de Pearson (ρ) de 0,5 entre material particulado fino e grosso, mostrando que há uma correlação moderada, porém significativa, entre os mesmos. Isso indica que uma variável está associada a outra de forma moderada, com ambas tendendo a aumentar e diminuir juntas. Já entre MP fino e monóxido de carbono, $\rho = -0,41$ é encontrado. Isso indica uma correlação negativa moderada entre essas variáveis, isso é, enquanto uma aumenta a outra tende a diminuir. Uma discussão mais adequada sobre tais características será feita a posteriori.

5.2 MONÓXIDO DE CARBONO

A concentração média de CO variou entre 1,0 ppm e 3,9 ppm durante o dia, e os valores parecem acompanhar a velocidade do vento, diminuindo e aumentando algum tempo depois do mesmo (Figura 7). Porém, ao anoitecer, os valores parecem ter correlações opostas, com o CO aumentando e o vento diminuindo, mostrando um comportamento mais complexo. Segundo NAS (2002), as concentrações de monóxido de carbono variam muito de acordo com o tamanho da frota de veículos. No entanto, os nossos resultados não mostram uma nítida associação entre o fluxo de veículos e o monóxido de carbono. Esta aparente dissociação é compreensível já que a concentração de CO não depende apenas do aumento do fluxo de veículos, também há a questão das condições desses veículos, que podem levar a um aumento de emissões. Veículos mais novos, com novas tecnologias e em bom estado poluem muito menos que veículos mais antigos e veículos que não estejam bem cuidados, o que pode levar a essa não associação entre aumento de fluxo e aumento das concentrações de CO atmosférico.

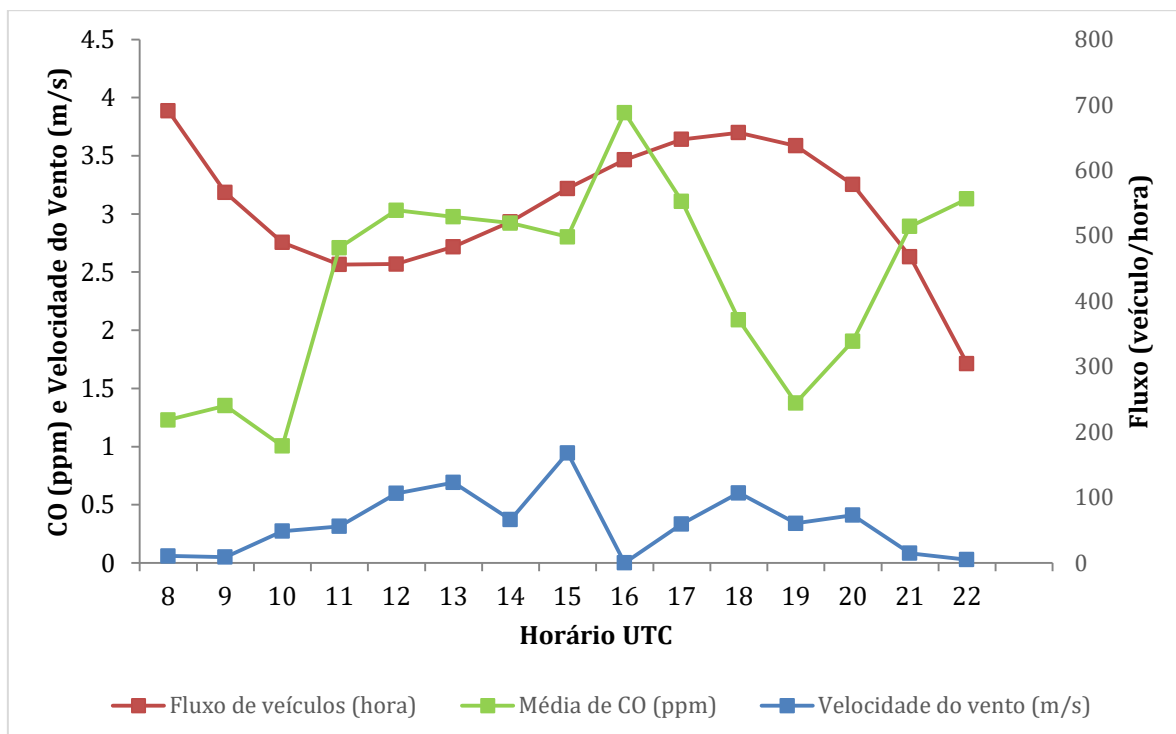


Figura 7: Variações do fluxo de veículos, velocidade do vento e CO a cada hora, entre as 08 e 23 horas, (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.

O efeito da chuva torrencial que ocorreu entre as 15h40min e 15h53min foi analisado em detalhes, numa janela temporal que considerou os 30 minutos que precederam e sucederam o evento (Figura 8). Considera-se que a topografia, as condições meteorológicas e as condições circundantes, como montanhas e construções podem limitar o fluxo de vento, prejudicando a dispersão de poluentes (NAS, 2002). Adicionalmente, lugares mais frios também contribuem para uma maior concentração de monóxido de carbono, isso se deve a baixa eficiência dos motores e de equipamentos que controlam as emissões quando em condições de baixas temperaturas (NAS, 2002). Desta forma, é fundamental considerar que o evento de chuva ocorrido no dia não deve apenas ser avaliado frente às variáveis pluviométricas, mas de uma série de parâmetros meteorológicos associados ao clima tropical típico do Brasil central.

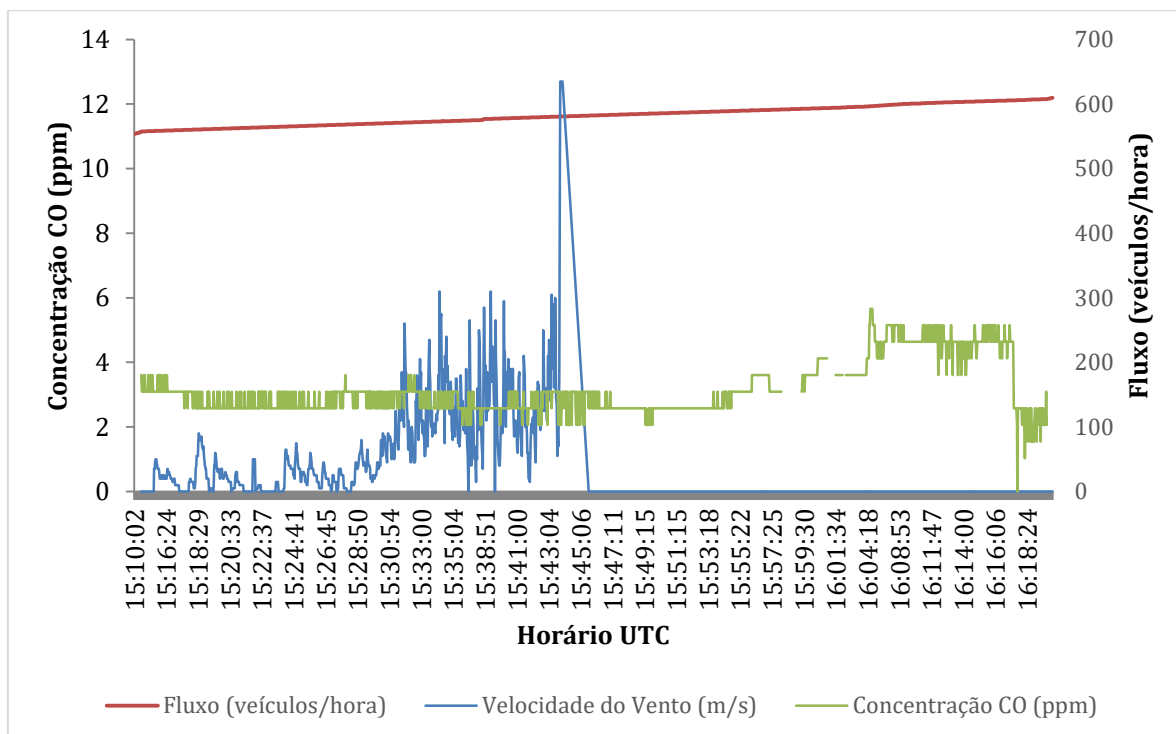


Figura 8: Variação do fluxo de veículos, velocidade do vento e CO nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208, Brasília-DF

Nota-se que a concentração média do monóxido de carbono antes e durante a chuva, se manteve praticamente constante, elevando-se um pouco após o término da precipitação. Logo após o término da chuva, ocorreu um “período de calmaria”, no qual os ventos ficaram bem brandos. Essa calmaria é típica após a dissipação dos sistemas convectivos, ocorrendo frequentemente quando a chuva diminui ou cessa. Esse leve aumento da concentração de CO parece estar ligado à diminuição dos ventos, os quais têm papel importante na dispersão do poluente (NAS, 2002).

É visto na Figura 7 que os veículos não se mostram grandes influenciadores na concentração do monóxido de carbono, mas muitos fenômenos ocorrem no ambiente urbano e nem sempre é possível observá-los em todas as escalas. Essa escala da Figura 8 mostrou-se a escala certa para evidenciar o processo cumulativo da poluição urbana, isso devido a essa janela temporal utilizada, contendo os 30 minutos que precederam e sucederam a precipitação que ocorreu entre as 15h e 40min e 15h e 53min, horário UTC (2 horas a mais com relação ao horário de verão em Brasília) e também devido à alta resolução

gerada pelos registros a cada dois segundos. Isso é importante e mostra também que, apesar de não estar muito relacionado com as concentrações, o fluxo de veículo se mostra envolvido quando os ventos ficam mais brandos, se revelando um agente que está ajudando com que haja essa acumulação de monóxido de carbono.

O regime de ventos pode variar muito durante o dia e durante o ano. Junto à sua velocidade, a direção varia também, e isso pode fazer uma grande diferença para o microclima. O vento em uma direção que vá de encontro aos edifícios ao redor, irá fazer com que o fluxo diminua nessa via da comercial, diminuindo a taxa de dispersão dos poluentes e aumentando a relação entre veículos e a poluição, que pode intensificar esse processo de acumulação. Com a chuva, fortes rajadas de ventos aconteceram, fazendo com que a questão da direção não contribuísse tanto, já que as rajadas de ventos eram muito fortes, tornando o fluxo de vento na área muito alto por diferentes direções por esse breve período de tempo.

5.3 MATERIAL PARTICULADO FINO

O material particulado fino, que é a fração de tamanho até $2,5\mu\text{m}$, apresentou concentrações médias entre $2,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $7,8\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 9). As concentrações desse MP fino, diferentemente das concentrações de monóxido de carbono, mostraram seguir o oposto da velocidade do vento. Isso nos mostra que o vento pode ser o grande fator de dispersão desse material particulado, já que quando a velocidade do vento aumenta, a concentração de MP fino diminui, aumentando novamente a concentração quando o vento diminui. O fluxo de veículo aparenta não estar sendo um grande influenciador no aumento ou diminuição da concentração desse material particulado.

Vale ser ressaltado que as condições dos veículos podem influenciar nesse caso, do mesmo jeito que influencia na concentração do monóxido de carbono, podendo aumentar ou diminuir as emissões dependendo do estado de conservação, ano e tecnologia de fabricação e combustível utilizado pelos veículos. O que influencia também é a complexidade das relações do material particulado na atmosfera, onde sua composição

química e morfológica, e sua concentração interferem no seu comportamento (NASCIMENTO, 2016).

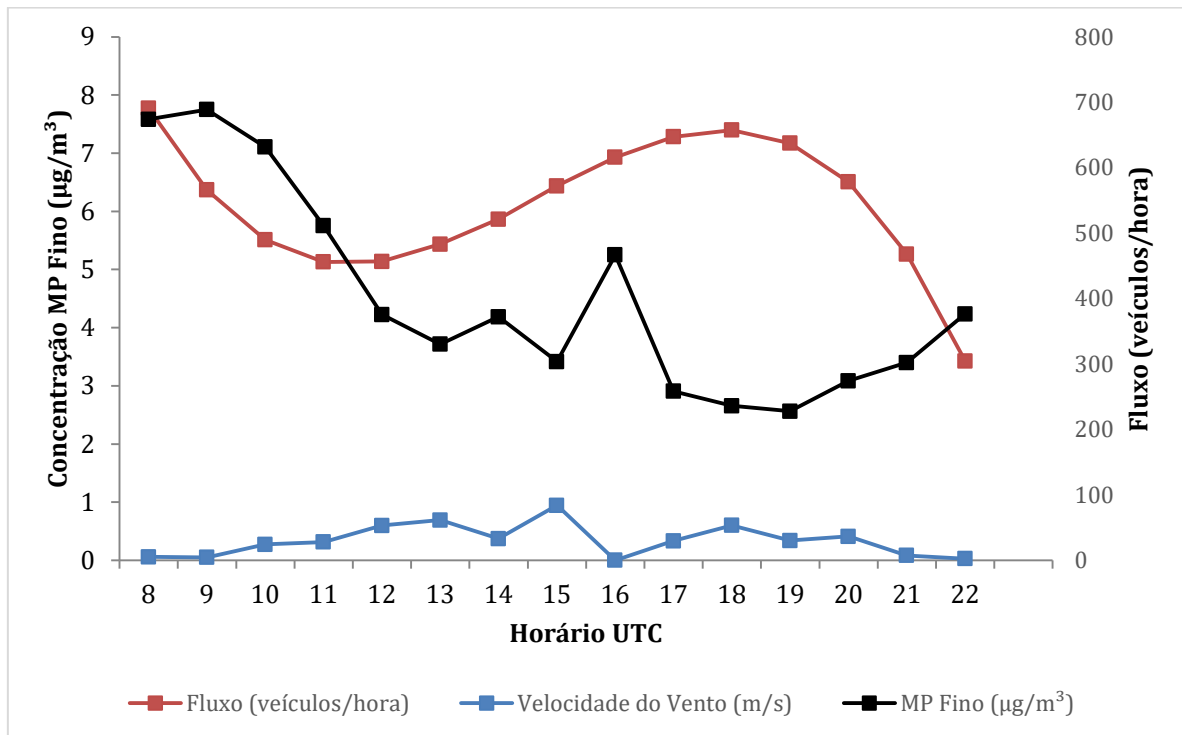


Figura 9: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP fino a cada hora, entre as 08 e 23 horas (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.

Observa-se na Figura 10, com dados iniciando cerca de 30 minutos antes e 30 minutos depois do início e fim da forte chuva, já mencionada anteriormente, que mesmo que o MP fino tenha seguido rapidamente o aumento da velocidade do vento alguns minutos antes do início da precipitação, em torno das 15h e 44min, essa concentração ainda se manteve, na maior parte do tempo, o inverso do vento. Podemos ver que pouco tempo antes da chuva, o vento com velocidades mais baixas, onde obtivemos um pico na concentração do material particulado. Também se observa que logo após o término da chuva, no período de calmaria do vento, que a concentração de MP fino volta a aumentar.

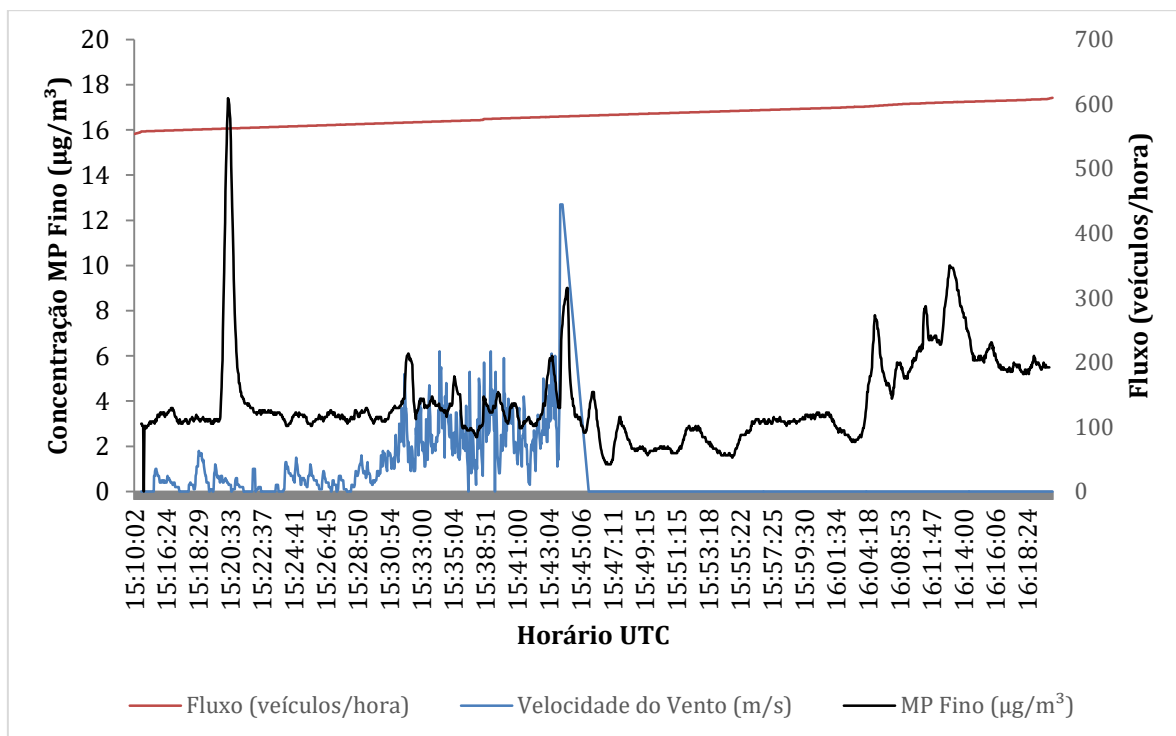


Figura 10: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP fino nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208, Brasília-DF.

A chuva parece reduzir o material particulado fino, já a calmaria, nos 30 minutos seguintes ao fim da chuva, da mesma forma que ocorreu com o CO, evidencia uma acumulação devido aos ventos fracos que já não estão mais dispersando com a mesma taxa que anteriormente. Isso mostra que mesmo o fluxo de veículo não estando muito relacionado às concentrações desse poluente, quando há fortes ventos, esse fluxo se revela um agente que contribui para a existência de acumulação quando os ventos estão fracos.

Ao calcular o coeficiente de Pearson para a correlação entre vento e MP fino, é encontrado $p = -0,5$, indicando a correlação negativa e evidenciando que o vento é um agente importante na dispersão desse poluente, já que quando houver aumento do vento houve diminuição desse material particulado na área.

5.4 MATERIAL PARTICULADO GROSSO

A concentração média do material particulado grosso, fração entre 2,5 μm e 10 μm , ficou entre 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 11), uma concentração média bem menor do que a do MP fino, o que é normalmente obtido. A concentração desse material, mesmo que tenha tido picos em horas de vento com velocidade baixa, aparenta sofrer forte influência do vento. A influência do vento se mostra quando o aumento brusco e mais repentino do mesmo aumenta também a concentração do MP grosso, gerando pequenos picos e mostrando que o vento ajuda na suspensão desse material na atmosfera.

O fluxo de veículos se mostra com a mesma falta de influência apresentada nos demais poluentes, nos levando a mesma complexidade que é a questão do comportamento dos mesmos na atmosfera e os diferentes fatores, tal como a condição da frota de veículos, que podem influenciar esse comportamento. Provavelmente, o MP medido durante o campo tem sua origem na ressuspensão pelo vento, muito mais que nas emissões veiculares. Isso é corroborado pelo fato de que o MP grosso é geralmente de origem secundária, portanto, não produzido diretamente por emissões veiculares.

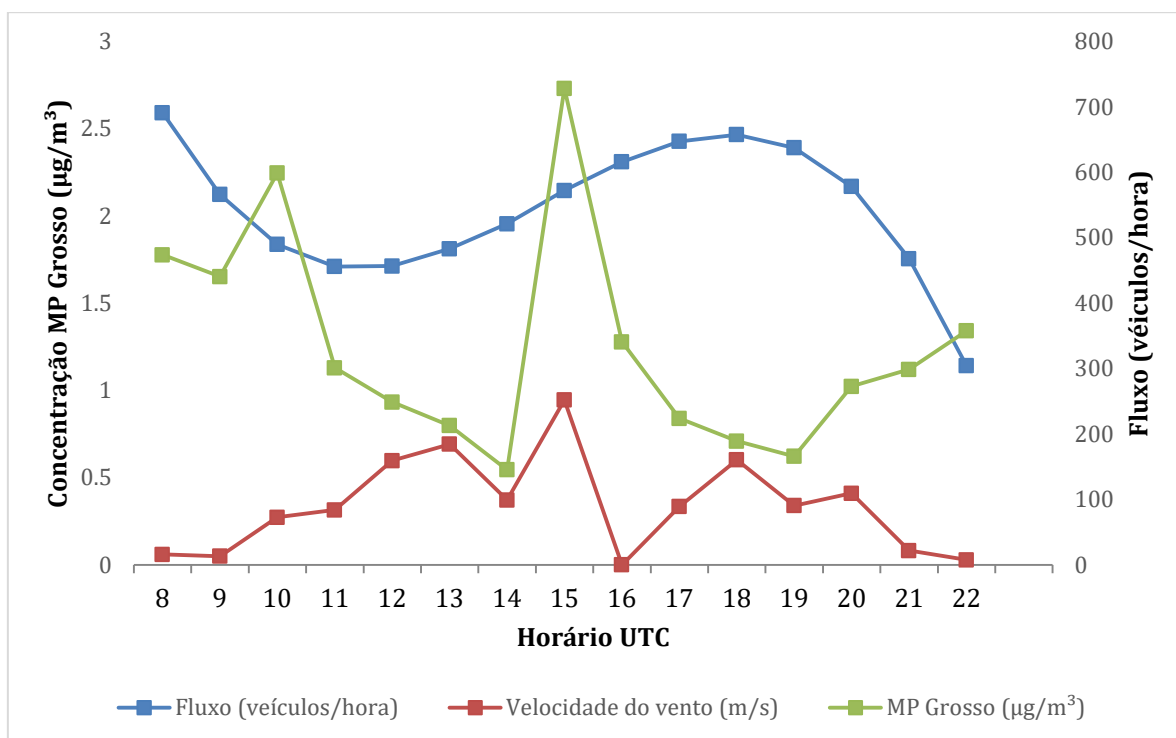


Figura 11: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP grosso a cada hora, entre as 08 e 23 horas, (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local), durante o dia 03/01/2017 na CLN 207/208, Brasília-DF.

No recorte temporal associado à forte chuva deste dia (Figura 12), nota-se mais claramente a influência do vento na concentração média do MP grosso na atmosfera. Com o vento mais calmo e lento, a concentração se mantém mínima e quando o vento começa a aumentar a velocidade, há também um aumento desse material suspenso, mostrando que o vento é um agente importante para a causa dessa suspensão. Isso é compreensível, já que esse é um material maior e mais denso, com baixo tempo de suspensão, sendo normal que apenas rajadas de vento mais fortes sejam capazes de ajudar a suspender esse material.

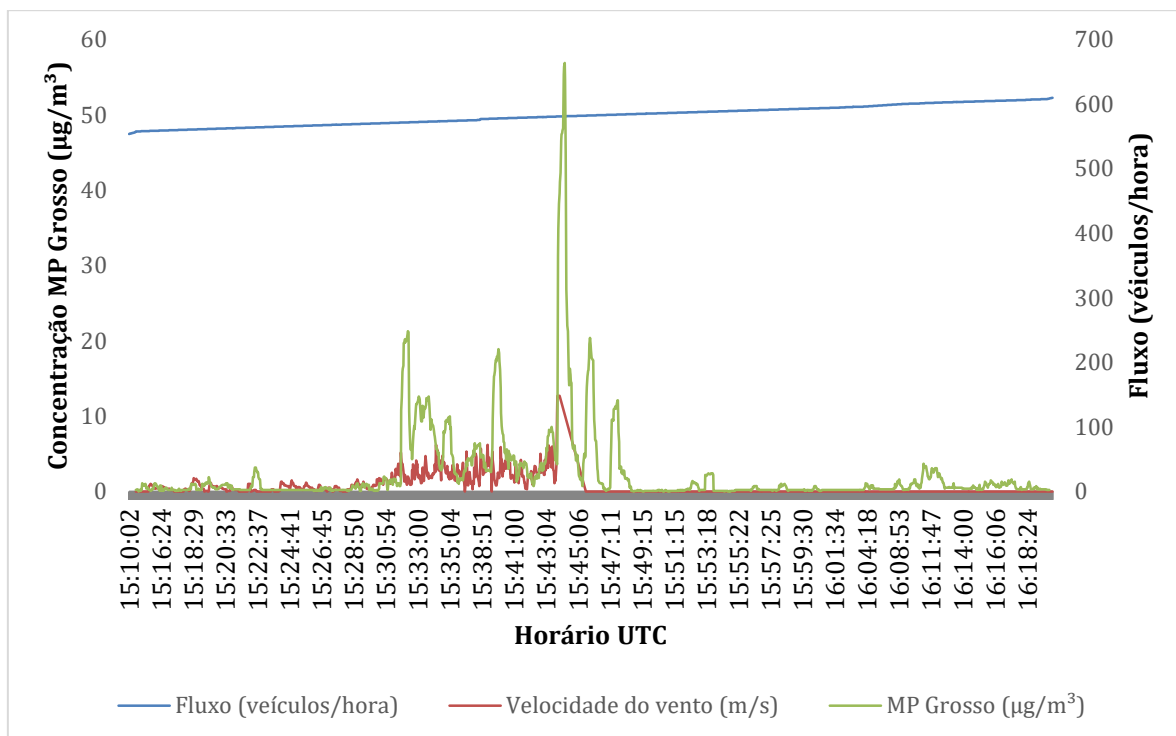


Figura 12: Variação de fluxo de veículos, velocidade do vento e MP grosso nos 30 minutos que antecederam e sucederam a forte precipitação que se iniciou às 15h e 40min, com término às 15h e 53min, horário UTC, que ocorreu na região da CLN 207/208, Brasília-DF.

Diferentemente do que ocorreu com o material particulado fino e o monóxido de carbono, no período de calmaria nos 30 minutos seguintes ao fim da chuva, não houve acumulação. Isso provavelmente ocorre pelo arrasto causado pela água, removendo o MP grosso do local ou por esse material ficar ainda mais denso devido à água, de forma a fazer uma um leito não particulado no solo, tornando mais difícil ser suspenso na atmosfera novamente.

5.5 NÍVEIS DE CONCENTRAÇÕES PERMITIDOS E CÂNIONS URBANOS

O Ministério do Meio Ambiente dispõe sobre os padrões de qualidade do ar aceitáveis no país através da Resolução CONAMA nº 03/1990. Em 2014 foram feitas reuniões para a revisão dos valores permitidos (MMA, 2014). Nessas reuniões os valores referência utilizados foram os indicados pela OMS em 2005 e foi considerado que a melhoria da

qualidade do ar pode ocorrer em etapas bem definidas, considerando a capacidade nacional de implementar instrumentos de gestão da qualidade do ar.

Valores de diversos poluentes foram discutidos nessas reuniões, as Tabela 4 e Tabela 6, apresentam os valores de monóxido de carbono e material particulado fino e grosso, que foram apresentados como proposta para serem os valores máximos de concentração na atmosfera permitidos, durante período de referência, para que o bem-estar e a saúde da população não sejam prejudicados. A Tabela 5 possui os dados coletados durante o dia 03 de janeiro de 2017, na comercial da Asa Norte e que foram analisados para saber se estavam dentro dos padrões aceitáveis ou não.

Tabela 4: Concentrações de CO considerados de baixo risco à saúde pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segunda a proposta do órgão, o padrão de Qualidade do Ar Intermediário 1 (PI-1) entra em vigor a partir da publicação da norma, PI-2 entra em vigor três anos após a PI-1, PI-3 entra em vigor três anos após a PI-2, Padrão Final (PF) três anos após a PI-3. Fonte: Adaptado de MMA, 2014.

Poluente	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		ppm	ppm	ppm	ppm
Monóxido de Carbono	8 horas	9	9	9	9

Tabela 5: Síntese dos dados obtidos no presente estudo, mostrando as concentrações médias de MP_{2,5}, MP₁₀ e CO de hora em hora durante o dia 03/01/2017, na CLN 207/208, entre as 08 e 22 horas (fuso horário UTC, com duas horas a mais em relação ao horário de verão local). Os valores em destaque são as médias máximas encontradas.

Hora (UTC)	Média de MP _{2,5} (µg/m ³)	Média de MP ₁₀ (µg/m ³)	Média de CO (ppm)
8	7,58	1,77	1,22
9	7,75	1,65	1,35
10	7,10	2,24	1,00
11	5,75	1,12	2,70
12	4,22	0,93	3,03
13	3,71	0,79	2,97
14	4,18	0,54	2,92
15	3,41	2,73	2,80
16	5,25	1,27	3,87
17	2,90	0,83	3,10
18	2,65	0,70	2,08
19	2,56	0,62	1,37
20	3,08	1,02	1,90
21	3,40	1,12	2,89
22	4,23	1,34	3,12
Total geral	4,60	1,255	2,37

Pode-se notar, ao observar a Tabela 5, que o monóxido de carbono foi encontrado na atmosfera em concentrações bem menores das que são recomendadas pelo CONAMA. A média máxima em 1 hora recomendada pelo CONAMA é de 35ppm (NASCIMENTO, 2016). A média máxima em uma hora que foi encontrada nessa área foi de 3,87ppm, o que é uma concentração bem abaixo. Podemos ver também que a média recomendada em 8h é de 9 ppm, e os valores encontrados nesse período de tempo também foram bem menores.

Tabela 6: Concentrações de MP_{2,5} e MP₁₀ considerados de baixo risco à saúde pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). Segunda a proposta do órgão, o padrão de Qualidade do Ar Intermediário 1 (PI-1) entra em vigor a partir da publicação da norma, PI-2 entra em vigor três anos após a PI-1, PI-3 entra em vigor três anos após a PI-2, Padrão Final (PF) três anos após a PI-3. Adaptado de MMA, 2014.

Poluente	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material Particulado – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50
	Anual *	40	35	30	20
Material Particulado – MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25
	Anual*	20	17	15	10

Pode-se notar pela Tabela 5 que a média durante o dia ficou bem abaixo dos valores que o MMA considera ser aceitável e que pretende marcar como meta futura de níveis aceitáveis. Mesmo que nesse trabalho não tenha sido coletado os dados por um período de 24 horas completas, como é previsto pelo CONAMA, é esperado que as horas em que foram coletadas sejam as horas mais representativas e importantes, por ser o período de hora comercial e conseqüentemente de maior fluxo de pessoas e veículos, que gera uma maior quantidade de emissões.

Os padrões finais sugeridos na reunião do CONAMA recomendam os valores de concentração média máxima de MP₁₀ em 24 horas de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Como visto na Tabela 5 a média máxima encontrada em uma hora para MP₁₀ foi em torno de 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, e esse é um valor de pico bem elevado quando olhamos os valores das outras horas do dia, que estão muito abaixo disso, deixando a média em 24 horas ainda mais baixa. Esses são valores muito baixos, o que é muito bom para a população e principalmente para quem mora e trabalha nessa área, já que são concentrações que não oferecem muitos riscos de saúde a essas pessoas. Vale ser ressaltado que é necessário levar em consideração condições físicas, idade, nível de atividade, entre outros fatores, para determinar se foi uma alta exposição e os riscos a saúde do indivíduo (WHO,2000).

Para $MP_{2,5}$ o valor de $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi o valor sugerido como padrão final na reunião, para o período referência de 24 horas. A média máxima em uma hora que foi encontrada para esse material particulado foi de $7,75\mu\text{g}/\text{m}^3$. Do mesmo jeito que ocorreu para o material particulado grosso, esse é um valor que difere bastante da média do dia, que também foi mais baixa. Mesmo que não tenha sido um valor tão inferior ao do considerado ótimo para a população, como ocorreu com o MP_{10} , esse ainda é um valor bem abaixo e considerado ótimo, não trazendo riscos, em níveis preocupantes, a população dessa área ou que frequenta essa área.

Ao comparar as médias desses poluentes encontradas nessa área, com características de um cânion urbano, com as médias encontradas por Nascimento (2016), em áreas mais abertas e com diferentes características, pode ser notado que mesmo sendo um ambiente de cânion urbano, essa região possui médias um pouco mais baixas que as encontradas por Nascimento em Brasília. Vale a ressalva de que são trabalhos em ambientes diferentes, com diferentes fluxos de veículos e havendo diferença nas características de emissão e dispersão desses poluentes. Além disso, Nascimento coletou dados durante um mês (Junho de 2016), em áreas urbanizadas e não urbanizadas, fazendo um perfil espacial, onde ele estava em movimento ao longo de diferentes vias. Apesar das diferenças, esses números tão baixos são interessantes por mostrarem que o cânion não parece estar fazendo com que haja uma menor dispersão dos poluentes, como era observado em outros trabalhos que serviram como fonte de bibliografia. O fluxo de vento não parece ter sofrido grandes variações nessa área, ainda sendo o principal agente para a diminuição das concentrações atmosféricas locais. Isso pode estar ocorrendo devido à altura das construções que formam esse cânion, como vemos na figura 4, são construções baixas, sem prédios altos, o que pode facilitar a troca vertical de ar nesse cânion, aumentando então a dispersão de poluentes (VARDOULAKIS, 2003).

Os dados provenientes do regime de abertura e fechamento do semáforo foram inconclusivos devido ao fato de que a luz do Sol interferiu no funcionamento do sensor fotoelétrico. Na prática, houve saturação do sensor durante toda a manhã e parte do período vespertino, fazendo com que não fosse possível detectar as variações das luzes dos

semáforos na maior parte do dia. Devido a isso, não é possível dizer se há de fato a influência desse regime do semáforo na variação de emissão e dispersão de poluentes. Essa foi uma primeira experiência usando um sensor fotoelétrico em semáforos, a análise dessa falha permitirá que os sistemas de detecção a serem usados futuramente sejam aprimorados para que não ocorra saturação do sensor novamente.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As concentrações de monóxido de carbono e material particulado neste estudo apresentaram médias bem abaixo do máximo permitido no Brasil e internacionalmente, pela Organização Mundial da Saúde. Devido a isso, pode considerar que a atmosfera da área estudada, no período estudado e para as variáveis analisadas, apresenta níveis ótimos, oferecendo baixos riscos a saúde da população dessa área.

Essas baixas concentrações de poluentes encontradas podem indicar que o planejamento de Brasília, com edifícios de menores altitudes, pode estar ajudando na dispersão de poluentes. Porém, outras áreas no entorno de Brasília, tipicamente algumas cidades-satélites, já possuem edifícios mais altos e ruas mais estreitas, que poderiam influenciar bastante nos resultados, sugerindo-se a realização de estudos análogos a este, visando avaliar os efeitos das características estruturais urbanas sobre a poluição.

É esperado que em outros meses, onde há um maior número de datas comemorativas e atividades comerciais, haja um aumento do fluxo de pessoas e consequentemente de veículos nessas vias comerciais, podendo levar a uma maior concentração de poluentes do que as obtidas nesse trabalho. Em outras épocas do ano a direção e velocidade do vento pode ser outra, o que também pode gerar novos resultados.

Com a forte chuva enfrentada, notou-se que um curto período, 30 minutos, com ventos mais fracos, se mostra o suficiente para que ocorra acumulação do material particulado fino e do monóxido de carbono, revelando o fluxo de veículo como um agente importante no aumento da concentração desses poluentes. Esse tempo também mostrou que o mesmo não ocorre com o material particulado grosso, que é mais denso e quando é removido do local pela chuva necessita de um tempo maior para voltar a ser suspenso e acumular.

As demais vias comerciais dessa região seguem um mesmo padrão urbanístico daquela aqui analisada, com característica de cânion. Apesar de o presente estudo mostrar que a via comercial em estudo (CLN 207-208) parece não sofrer diminuição de dispersão de

poluentes, mais estudos em áreas semelhantes devem ser estimulados, principalmente devido à mudança de agentes emissores que poderá haver de região para região. Estudos em vias comerciais com predominância de restaurantes podem trazer resultados bem diferentes já que haverá poluentes sendo emitidos pelas chaminés dos mesmos e que poderá estar se concentrando junto com as emissões dos veículos.

Devido aos problemas enfrentados para monitorar o regime dos semáforos, foi inviável analisar o efeito do regime de sinalização luminosa sobre as emissões de poluentes pelos veículos. Os problemas foram identificados para que em futuras pesquisas sejam corrigidos.

Quanto ao monitoramento, a sugestão é de que haja mais parcerias entre as instituições de pesquisa para que a rede de monitoramento seja ampliada e para que o monóxido de carbono e o material particulado sejam avaliados de forma eficiente junto a outros poluentes que podem trazer sérios danos à saúde e que também ainda não são monitorados.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M. F. *et al.* . An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. **Atmospheric Environment**, v. 44, n. 39, p. 5072-5083, 2010.

ANDERSON, J. O.; THUNDIYIL, J. G.; STOLBACH, A. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. **Journal of Medical Toxicology**, v. 8, p. 166-175, 2012.

BRUNEKREEF, Bert; HOLGATE, Stephen T. Air pollution and health. **The Lancet**, v. 360, n. 9341, p. 1233-1242, 2002.

DETRAN/DF. Frota de veículos registrados no Distrito federal. Agosto de 2016. Disponível em < http://www.detran.df.gov.br/images/08_agosto_2016_frota.pdf >. Acesso em 15 de outubro de 2016.

DETRAN/PR. Glossário. Disponível em <<http://www.detran.pr.gov.br/modules/catasg/servicos-detalhes.php?tema=detran&id=185>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

DRISCOLL, Charles T. *et al.* Acidic Deposition in the Northeastern United States: Sources and Inputs, Ecosystem Effects, and Management Strategies The effects of Acidic Deposition in the Northeastern United States include the acidification of soil and water, which stresses terrestrial and aquatic biota. **BioScience**, v. 51, n. 3, p. 180-198, 2001.

EPA. Particulate Matter (PM) Pollution. Disponível em < <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>>. Acesso em 03 de novembro de 2016.

Google Maps. CLN 207/208 Info. Asa Norte. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/place/Info+Asa+Norte/@-15.7649729,-47.8802274,18z/data=!4m8!1m2!2m1!1sINFO+ASA+NORTE!3m4!1s0x0:0x63c3923139560cc5!8m2!3d-15.7634931!4d-47.881295?hl=en>>. Acesso em 10 de janeiro de 2017.

HILDEMANN, L. M. *et al.* . Submicrometer Aerosol Mass Distributions of Emissions from Boilers, Fireplaces, Automobiles, Diesel Trucks, and Meat-Cooking Operations. **Aerosol Science and Technology**, v. 14, p. 138-152, 1991.

IBGE. Frota de veículos no Brasil. 2016. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/frota.php>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

IBRAM. Qualidade do Ar. 2016. Disponível em <<http://www.ibram.df.gov.br/informacoes/meio-ambiente/qualidade-do-ar.html>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

IEMA. 1º Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. 2014. Disponível em <http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/Rosana/Diagnostico_Qualidade_do_Ar_Versao_Final_Std.pdf>. Acesso em 20 de outubro de 2016.

JÚNIOR, Réquia; JOÃO, Weeberb. Modelagem espacial da exposição humana às fontes de poluição do ar no Distrito Federal: o uso e ocupação do solo como variável preditora. 2015.

KAMPA., M.; CASTANAS., E. Human health effects of air pollution. **Environmental Pollution**, v. 151, p. 362-367, 2008.

KUMAR, P.; GOEL, A. Characterisation of nanoparticle emissions and exposure at traffic intersections through fasteresponse mobile and sequential measurements **Atmospheric Environment**, v. 107 p. 374-390, 2015.

KUMAR, P.; GOEL, A. Concentration dynamics of coarse and fine particulate matter at andaround signalised traffic intersections. **Environmental Science: Processes & Impacts**, v. 18, p. 1220-1235, 2016.

MANNING, A. J. *et al.* . Field Study of Wind and Traffic to Test a Street Canyon Pollution Model. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 60, p. 283-313, 2000.

MERCADO LIVRE. Disponível em < https://http2.mlstatic.com/anemometro-mede-velocidade-do-vento-e-termometro-digital-D_NQ_NP_19069-MLB20165121391_092014-O.jpg>. Acesso em 13 de Janeiro de 2017.

MMA. 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários. Relatório Final. 2014. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/163/_publicacao/163_publicacao27072011055200.pdf>. Acesso em 15 de Outubro de 2016.

_____. Resolução do CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390>>. Acesso em 12 de outubro de 2016.

_____. Resolução do CONAMA nº 5, de 15 de junho de 1989. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res89/res0589.html>>. Acesso em 12 de outubro de 2016.

_____. Revisão da Resolução CONAMA nº 03/1990 – Padrões de Qualidade do Ar Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/C1CB3034/PropResol_7GTQualidAr_LIMPA.pdf>. Acesso em 10 de janeiro de 2017.

NAS. National Academy of Sciences. The Ongoing Challenge of Managing Carbon Monoxide Pollution in Fairbanks, Alaska. 2002. Disponível em <<http://www.nap.edu/catalog/10378/the-ongoing-challenge-of-managing-carbon-monoxide-pollution-in-fairbanks-alaska>>. Acesso em 05 de novembro de 2016.

NASCIMENTO, A. R. P. Monóxido de Carbono e Material Particulado na Atmosfera do Distrito Federal: Mapeamento espaço-temporal e processos de geração/atenuação. 2016.

PRAJAPATI, S. K.; TRIPATHI, B. D.; PATHAK, V. Distribution of vehicular pollutants in street canyons of Varanasi, India: a different case. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 148, p. 167-172, 2009.

RAUB, J. A. *et al.* . Carbon monoxide poisoning - a public health perspective. **Toxicology**, v. 145, p. 1-14, 2000.

VARDOULAKIS, S. *et al.* . Modelling air quality in street canyons: a review **Atmospheric Environment**, v. 37, p. 155-182, 2003.

WHO-World Health Organization. 7 million premature deaths annually linked to air pollution. Geneva: WHO, 2014

WHO-World Health Organization et al. Air quality guidelines for Europe. 2000.